

10/50/621

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
2. Oktober 2003 (02.10.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/081332 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: G02F 1/17

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP03/03073

(22) Internationales Anmeldedatum:
25. März 2003 (25.03.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102 13 731.5 26. März 2002 (26.03.2002) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): HEIDELBERG INSTRUMENTS MIKROTECH-
NIK GMBH [DE/DE]; Tullastraße 2, 69126 Heidelberg
(DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): PREUSS, Sven
[DE/DE]; Tullastraße 2, 69126 Heidelberg (DE).

(74) Anwalt: REBLE, KLOSE & SCHMITT; Patente +
Marken, Postfach 12 15 19, 68066 Mannheim (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,
CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE,
GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR,
KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK,
MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU,
SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,
HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

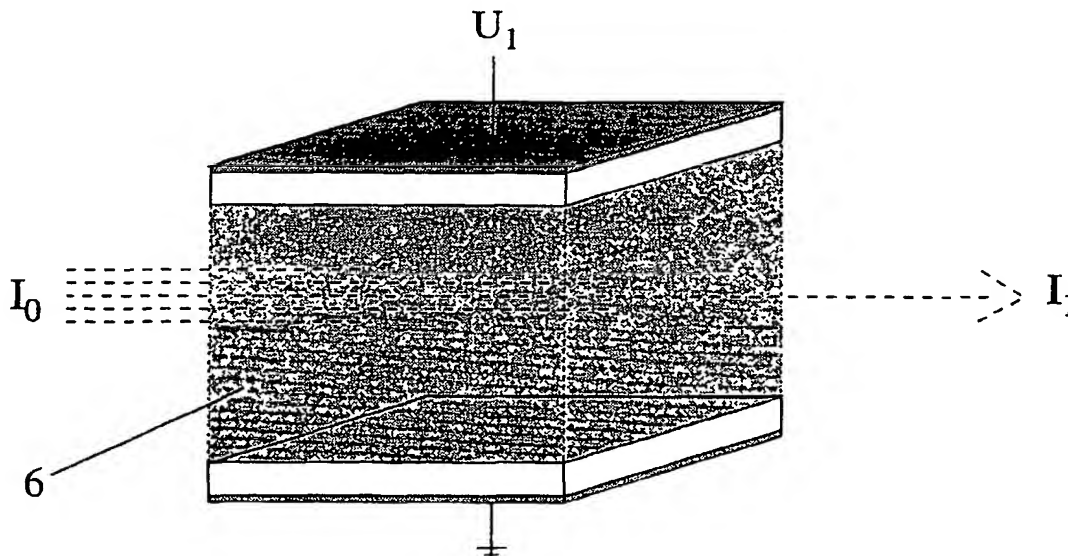
Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR LIGHT MODULATION BY MEANS OF A GRANULAR GAS

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR LICHTMODULATION



(57) Abstract: The invention relates to a method and a device for light modulation, wherein the intensity of light can be altered by means of electrically chargeable or charged particles (5). The aim of the invention is to obtain light modulation in an economical, fast and reliably reproducible manner. According to the invention, a gas or vacuum is provided wherein the particles (5) can be displaced; a granular gas (6) is produced using said gas or vacuum between at least two electrodes (1, 2) in such a manner that electrically charged particles (5) in the electric field between the electrodes (1, 2) can be moved backwards and forth and the light which is to be modulated is guided through the granular gas (6) between the electrodes (1, 2).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 03/081332 A1



— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Lichtmodulation, wobei die Intensität Lichtes mittels elektrisch ladbarer oder geladener Teilchen (5) veränderbar ist. Es liegt die Aufgabe zugrunde, eine schnelle und zuverlässig reproduzierbare Lichtmodulation mit gerigem Aufwand zu erreichen. Hierzu wird vorgeschlagen, dass ein Gas oder Vakuum vorgesehen wird, in welchem die Teilchen (5) bewegbar sind, dass mit dem Gas oder Vakuum zwischen wenigstens zwei Elektroden (1, 2) ein granulares Gas (6) derart erzeugt wird, dass aufgrund einer an den Elektroden anliegenden zeitlich variierenden Spannung die im elektrischen Feld zwischen den Elektroden (1, 2) vorhandenen elektrisch geladenen Teilchen (5) hin- und her bewegt werden und dass das Licht zur Modulation durch das granulare Gas (6) zwischen den Elektroden (1, 2) geleitet wird.

VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR LICHTMODULATION MITTELS EINES GRANULAREN GASES

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Lichtmodulation gemäß der im Oberbegriff des Patentanspruchs 1 angegebenen Merkmale. Ferner bezieht sich die Erfindung auf eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Zur Modulation und Schaltung von Licht wurden unterschiedliche Techniken entwickelt, die jeweils andere physikalische Effekte ausnutzen. Die bekanntesten und wichtigsten Methoden sind Flüssigkristalle, wie Liquid Crystal Displays (LCD) oder Ferroelectric Liquid Crystal Displays (FLCD), Mikrospiegel (einzeln und Matrix), elektro- und akustooptische Modulatoren (Kerr- und Pockelszelle, AOM) sowie elektrophoretische Displays. In elektrophoretischen Displays befinden sich die geladenen Teilchen in einer Suspension, das heißt sie schwimmen in einer elektrisch isolierenden Flüssigkeit.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung vorzuschlagen, um die Lichtmodulation in einfacher Weise und mit einem geringen konstruktiven Aufwand durchführen zu können. Das Verfahren soll eine schnelle und/oder zuverlässig reproduzierbare Modulation des Lichtes ermöglichen und problemlos an unterschiedliche Einsatzbedingungen und Anwendungen anpaßbar sein. Mittels der

- 2 -

Vorrichtung soll das Verfahren mit einem geringen Aufwand und wenigen Komponenten realisierbar sein. Ferner soll die Vorrichtung ein geringes Bauvolumen aufweisen sowie eine einfache Integration und Anpassung an vorhandene Systeme ermöglichen. Des Weiteren soll durch das Verfahren bzw. die Vorrichtung die Schaltgeschwindigkeit der Lichtmodulation verbessert werden.

Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt hinsichtlich des Verfahrens gemäß der Merkmale des Patentanspruchs 1 und ferner hinsichtlich der Vorrichtung gemäß der Merkmale des Patentanspruchs 6.

Mit dem vorgeschlagenen Verfahren und der vorgeschlagenen Vorrichtung kann das Licht einer beliebigen Quelle und Wellenlänge, insbesondere auch das kohärente, parallele Licht eines Lasers, moduliert, das heißt in seiner Intensität verändert werden. Dazu wird das Licht in die hier beschriebene und im Folgenden auch als "Modulationszelle" bezeichnete Apparatur oder Vorrichtung eingekoppelt. Dieses Einkoppeln kann je nach Lichtquelle und Anwendung eine unterschiedliche Optik erfordern. Gemäß des Verfahrens bewegen sich geladene Teilchen einem Gas oder auch im Vakuum und erzeugen ein sogenanntes "granuläres Gas". Solch ein granuläres Gas, welches im wesentlichen eine homogene Wolke aus Pulverteilchen (Nebel) ist, läßt sich auf unterschiedliche Weise erzeugen, zum Beispiel durch Vibration eines Pulvers, durch Einblasen eines Gases in ein Pulver. Erfindungsgemäß wird das granuläre Gas durch äußere elektrostatische Kräfte erzeugt, die auf die elektrisch geladenen Pulverteilchen wirken. Innerhalb einer Elektroden enthaltenden Zelle, welche nach außen bevorzugt abgedichtet ist, wird die Lichtintensität durch das kontrollierte granuläre Gas moduliert. Das aus der Zelle austretende Licht wird je nach Anwendung durch eine Optik abgebildet. Die Lichtmodulation, insbesondere des kohärenten, parallelen Lichts eines Lasers, erfolgt erfindungsgemäß mittels des kontrollierten granulären Gases.

Abhängig vom genauen Aufbau der Modulationszelle können ein einzelnes Lichtbündel, Teile davon oder auch mehrere Lichtbündel parallel moduliert werden. Als Lichtbündel wird dabei das in die Modulationszelle eingestrahlte Licht bezeichnet, welches sowohl ein Laserstrahl als auch das kollimierte und / oder fokussierte Licht einer beliebigen anderen Lichtquelle sein kann. Durch diese Modulation des Lichtes läßt sich die Apparatur zum Beispiel als variabler, schnell schaltbarer Graufilter verwenden, der ein ganzes Lichtbündel oder Teile davon abschwächt. Insbesondere ist es auch möglich, ein ausge-

dehntes Lichtbündel in Pixel zu unterteilen und diese Pixel einzeln zu modulieren (siehe auch Fig. 4), wodurch ein sogenannter "Spatial Light Modulator" (SLM) realisiert wird.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand der in der Zeichnung dargestellten besonderen Ausführungsbeispiele näher erläutert, ohne daß insoweit eine Beschränkung erfolgt.

Wie aus Fig. 1 zu ersehen, befinden sich bei der grundlegenden Modulationszelle zwei Elektroden 1, 2 im Abstand z voneinander. Im Zwischenraum der beiden Elektroden 1, 2 befindet sich ein elektrisch geladenes Pulver 5 und ein beliebig dichtes Gas beziehungsweise ein Vakuum. Abhängig von der Art des Pulvers 5 sind die Elektroden 1, 2 mit einer optionalen elektrisch isolierenden Schicht 3, 4 der Dicke d_1 bzw. d_2 überzogen, wie nachfolgend noch erläutert wird. Bei einer angelegten und/oder im wesentlichen konstanten Spannung U_0 zwischen den Elektroden 1, 2 haften die Pulverteilchen an den Isolierschichten 3, 4. Das zu modulierende Licht der Intensität I_0 fällt seitlich in die Zelle ein und durchquert diese ungehindert.

Wird nun gemäß Fig. 2 eine geeignete, zeitlich variierende Spannung U_1 zwischen den beiden Elektroden angelegt, so entsteht ein elektrisches Feld ($E=U_1/z$), welches bei ausreichender Feldstärke die geladenen Pulverteilchen in Bewegung versetzt und sie in Richtung der anderen Elektrode bewegt. Dabei bewegen sich die Teilchen nicht synchron, da sie durch eine unterschiedliche Kraft an den Elektroden haften, das heisst die Pulverteilchen beginnen zu unterschiedlichen Zeitpunkten mit der Bewegung. Bei passender Frequenz der Spannung U_1 bewegen sich die Teilchen zwischen den Elektroden hin und her, wechselwirken miteinander und erzeugen so ein granulares Gas 6. Dabei wirkt durch das elektrische Feld auf die Teilchen die Kraft $F=(U_1 \cdot Q)/z$ und die Teilchen erfahren durch diese Kraft eine Beschleunigung $a=F/m$, wobei Q die Ladung und m die Masse eines Pulverteilchens ist. Für die Frequenz der Spannung U_1 gibt es eine Obergrenze, ab der sich kein homogenes granulares Gas mehr zwischen den Elektroden erzeugen lässt, da die Pulverteilchen zu träge sind und in dem schnell wechselnden elektrischen Feld nur noch einen Bruchteil der Strecke z zurücklegen. Diese Grenzfrequenz ist abhängig vom Abstand der Elektroden z , sowie der Masse und Ladung der Pulverteilchen. Erfindungsgemäß wird die Spannung U_1 mit einer Frequenz kleiner als die Grenzfrequenz vorgegeben. Als Untergrenze der Frequenz gilt diejenige Frequenz, ab welcher die Pulverteilchen in Abhängigkeit insbesondere der vorgenannten Parameter von der einen zur anderen Elektrode hin und her bewegbar sind.

- 4 -

Wird ein granulares Gas erzeugt, wird das einfallende Licht von den Pulverteilchen absorbiert/gestreut und von der einfallenden Intensität I_0 kann nur ein Bruchteil $I_1 < I_0$ die Zelle bzw. Vorrichtung durchqueren. Das Verhältnis von I_1 zu I_0 ist dabei abhängig von der Länge der Strecke, die das Licht durch das granulare Gas zurücklegt, sowie der Dichte und Streu- beziehungsweise Absorptionsfähigkeit des granularen Gases. Der Extinktionskoeffizient des granularen Gases und die Geschwindigkeit, mit der es sich aus den ruhenden Pulverteilchen erzeugen lässt (Schaltgeschwindigkeit), ist insbesondere anderem abhängig von der Stärke und dem zeitlichen Verlauf der angelegten Spannung, sowie dem Material, der Ladung und der Größe der einzelnen Pulverteilchen. Die Schaltgeschwindigkeit erhöht sich dabei mit abnehmender Masse und zunehmender elektrischer Ladung der einzelnen Teilchen, das heißt mit Zunahme des Quotienten aus Ladung und Masse Q/m . Ebenso erhöht sich die Schaltgeschwindigkeit mit der Stärke des elektrischen Feldes zwischen den Elektroden, also mit steigender Spannung U_1 oder sinkendem Abstand z .

Das geladene Pulver ist aufgrund der elektrischen Abstoßungskräfte bestrebt, einen möglichst großen Abstand zwischen die einzelnen Pulverteilchen zu bringen und sich über die Grenzen der Zelle hinaus auszudehnen. Da Teilchen, die sich nicht zwischen den Elektroden befinden, jedoch nicht mehr bewegt werden können muß diese Ausdehnung verhindert werden. Dies geschieht durch die Wahl des elektrischen Feldes, welches so geformt wird, dass es diese Ausdehnung verhindert.

Ein elektrisches Feld, welches das Pulver auf den Raum zwischen den Elektroden beschränkt, lässt sich durch die Aufteilung der Elektroden 1, 2 gemäß Fig. 2 in mehrere Einzelelektroden realisieren, welche sich unabhängig voneinander mit einer Spannung belegen lassen und im Folgenden als Steuer- und Begrenzungselektroden bezeichnet werden. Die Steuerelektroden dienen zur Erzeugung (An- und Abschalten) des granularen Gases, und die Begrenzungselektroden erzeugen eine Potentialbarriere und verhindern, dass die Pulverteilchen die Modulationszelle verlassen. Dabei gibt es eine unüberschaubare Zahl von Möglichkeiten die Form, Zahl und Position der Steuer- und Begrenzungselektroden zu variieren. Die genaue geometrische Anordnung ist abhängig von der Anwendung und der benötigten Lichtmodulation. Insbesondere muß die Geometrie der oberen Elektrode 1 nicht identisch mit der Geometrie der unteren Elektrode 2 sein.

- 5 -

Fig. 3 zeigt als Beispiel die einfachste Zelle dieser Art bei der die obere und untere Elektrode jeweils aus einer Steuer- und einer Begrenzungselektrode bestehen, welche in diesem Fall rechteckig sind, aber wie erwähnt, je nach Anwendung jede beliebige Form haben können (Polygon, Ellipse). Die Elektroden 7 und 8 beziehungsweise 9 und 10 sind durch einen Abstand d getrennt und in diesem Fall sind alle von einer elektrisch isolierenden Schicht 11 bedeckt. Die Steuerelektroden 7, 9 dienen zur Erzeugung des granularen Gases und die äußeren Begrenzungselektroden 8, 10 sorgen dafür, dass die Pulverteilchen 12 die Modulationszelle nicht verlassen können. Ist zum Beispiel das Pulver positiv geladen, wird dies erreicht, in dem die Begrenzungselektroden 8, 10 positiv gegenüber der Steuerelektroden 7, 9 geschaltet sind, das heißt $U_4 > U_3$ und $U_6 > U_5$. Durch passende Wahl der Spannungen $U_{3,6}$, die zeitlich und untereinander variieren, wird somit ein granulares Gas 12 erzeugt, das im Wesentlichen auf den Raum zwischen den Steuerelektroden 7, 9 beschränkt ist.

Als weiteres Beispiel sei die einfachste Form eines SLM gegeben, das heißt einer Modulationszelle, die aus einer Reihe von einzelnen Pixeln besteht, die unabhängig voneinander Teile eines Lichtbündels modulieren können. Im Rahmen der Erfindung wird eine beliebige oder definierte Anzahl von Zellen wie in Fig. 3 nebeneinander gesetzt und/oder vorgegeben. Ferner ist ein SLM wie in Fig. 4 erfindungsgemäß zu realisieren. Die Zelle besteht in diesem Fall aus acht Pixeln (theoretisch aber aus beliebig vielen), die sich über die ersten Steuerelektroden 13 einzeln ein- und ausschalten lassen. Die gemäß Fig. 4 zweite untere Steuerelektrode 14 ist in diesem Fall eine durchgehende Fläche, kann aber je nach Anwendung auch in mehrere Steuerelektroden aufgespalten werden oder geometrisch identisch zur oberen Steuerelektrode ausgebildet sein. Die Begrenzungselektroden 15, 16 dienen wiederum zur Eingrenzung des granularen Gases 17 auf die Zelle. Jede dieser Elektroden kann unabhängig voneinander mit einer Spannung belegt werden, wodurch sich das granulare Gas 17 in jedem Pixel schalten läßt. Dadurch kann das Licht, welches die Zelle in der y-Richtung durchquert, in jedem einzelnen Pixel unabhängig moduliert werden. Je nach Anwendung und gewünschter Lichtmodulation können bei einem solchen SLM auch einige oder alle der Elektroden in y-Richtung unterteilt werden. Ebenso ist der Abstand der Elektroden untereinander und deren geometrische Form von der gewünschten Lichtmodulation abhängig. Infolge der somit in X-Richtung bzw. des Lichtdurchtritts unabhängig von einander vorgegebenen Teilbereiche, in welchen wahlweise granulares Gas vorhanden oder nicht vorhanden ist, ist die Wegstrecke des die granularen Gas-Teilbereiche durchdringenden Lichtes

vorgebbar und/oder veränderbar. Erfindungsgemäß wird somit der Modulationsgrad definiert vorgegeben.

In den bisherigen Beispielen waren die Elektroden auf zwei Ebenen in der vertikalen Richtung beschränkt, dies ist aber nicht notwendigerweise so. Man kann zum Beispiel eine vollkommen gekapselte Modulationzelle bauen, in der die Begrenzungselektroden nicht horizontal, sondern vertikal ausgerichtet sind. In Fig. 5 ist ein Schnitt durch eine solche Zelle dargestellt. Die Steuerelektroden 18, 19 erzeugen das granulare Gas aus dem Pulver 20, und die Begrenzungselektroden 21, 22 verhindern in diesem Fall das Haftenbleiben der Pulverteilchen an den Wänden der Zelle und halten das Pulver zwischen den Steuerelektroden. Alle Elektroden sind von einer elektrisch isolierenden Schicht 23 überzogen. Da das zu modulierende Licht auch bei einer gekapselten Zelle durch den Zwischenraum der Steuerelektroden gelenkt wird, müssen die Begrenzungselektroden entweder transparent 21, z.B. Indium-Zinkoxid (ITO) oder so strukturiert 22 sein, dass das Licht durch sie nicht blockiert wird. Ebenso muss die Isolierschicht 23 und das Substrat 24, auf dem sich die Begrenzungselektrode in diesem Fall befindet, aus einem transparenten Material bestehen. Auch bei der gekapselten Zelle ist die Anzahl und die geometrische Form und Anordnung der Elektroden von der jeweiligen Anwendung abhängig, so dass sich auch SLMs realisieren lassen.

Natürlich lassen sich auch verschiedene oder identische Modulationszellen in Reihe oder parallel schalten, um bestimmte Modulationsergebnisse zu bekommen, insbesondere läßt sich durch das Parallelschalten ein zweidimensionaler SLM realisieren.

Die Dimensionen der Modulationszelle und der Pulverteilchen sind abhängig von der jeweiligen Anwendung, insbesondere von der Schaltgeschwindigkeit, die man erreichen möchte. Je kleiner die Dimensionen, desto schneller lässt sich das granulare Gas schalten und somit das Licht modulieren und desto geringer ist die benötigte Spannung, um das granulare Gas zu erzeugen. Typische Abstände der Elektroden z , in Abbildung 1, liegen im Bereich von 1 mm bis 0,1 mm und typische Spannungen zum Erzeugen des granularen Gases liegen zwischen 1000V und 50V. Die geometrischen Dimensionen der Steuer- und Begrenzungselektroden können im Bereich von Mikrometern aber auch Zentimetern liegen und sind abhängig von der gewünschten Lichtmodulation.

Die Modulationszellen lassen sich beispielsweise leicht durch photolithographische Prozesse herstellen, welche besonders geeignet sind, auch kleine Strukturen zu schreiben. Dabei wird gemäß Fig. 6 die Struktur der Elektroden auf einem Substrat, insbesondere einer metallbeschichteten Glasplatte 25 erzeugt. Fig. 6 zeigt eine bevorzugte Möglichkeit, der Realisierung der Modulationszelle gemäß Fig. 3. Die Steuerelektrode 26, (7, 9 in Fig. 3) und die Begrenzungselektrode 27 (8, 10 in Fig. 3) können separat mit einer Spannung versorgt werden. Die optionale, dünne Isolierschicht 28 (11 in Fig. 3) kann gesputtert, aufgedampft oder in Form gelöster Polymere durch spin-coating aufgebracht werden. Zwei derartige Glasplatten 5 werden dann durch einen Spacer separiert und können nach Einbringen eines geladenen Pulvers als Modulationszelle genutzt werden.

Das Material, aus dem das Pulver zwischen den Steuerelektroden besteht, ist prinzipiell beliebig, es kann sich dabei um ein leitendes, halbleitendes oder nicht leitendes Material handeln. Die einzige Bedingung ist, dass die einzelnen Teilchen zur Erzeugung des granularen Gases eine elektrische Überschussladung tragen müssen, da sie sonst nicht bewegt werden können. Die Wahl des Pulvermaterials und der Teilchengröße ist jedoch wesentlich für die Eigenschaften der Modulationszelle, insbesondere in bezug auf den Extinktionskoeffizienten bei einer bestimmten Wellenlänge und der Geschwindigkeit, mit der das granulare Gas ein- beziehungsweise abgeschaltet werden kann.

Die elektrische Aufladung des Pulvers kann vor Einbringen des Pulvers in die Modulationszelle geschehen, unter bestimmten Bedingungen aber auch in der Zelle direkt. Besteht das Pulver aus einem schlecht- oder nichtleitenden Material, so kann eine der Elektroden unisoliert sein (d_1 oder d_2 gleich Null in Fig. 1), und die Aufladung des Pulvers kann direkt über eine der Steuerelektroden erfolgen. Die Aufladung des schlecht leitenden Pulvers dauert längere Zeit (Minuten bis Stunden), aber die Pulverteilchen halten ihre Ladung auch lange und geben sie nur langsam wieder ab.

In Fig. 7 ist diese Aufladung schematisch dargestellt. Die Pulverteilchen 29 werden auf der unisolierten Steuerelektrode 30 durch die Spannung U in diesem Beispiel positiv geladen, und sobald sie genügend Ladung aufgenommen haben, bewegen sie sich im elektrischen Feld 31 zur isolierten Elektrode 32 und bleiben dort haften 33. Nach Aufladung des Pulvers kann eine variierende Spannung angelegt und ein granulares Gas

- 8 -

erzeugt werden. Da das Pulver schlecht leitend ist, lädt es sich beim Kontakt mit der unisolierten Elektrode nicht um, sondern behält die positive Ladung.

Bei einem leitenden Pulvermaterial funktioniert dieses Verfahren nicht. Es könnte zwar schneller geladen werden, das granulare Gas würde aber aus einem Gemisch von positiv und negativ geladenen Teilchen bestehen, da das Pulver bei Kontakt mit der unisolierten Elektrode sofort die Polarität annimmt, die die Elektrode in diesem Moment besitzt. Ein granulares Gas, das beide Polaritäten enthält, lässt sich jedoch nicht mehr ohne weiteres kontrollieren. Ausserdem besteht bei einem leitenden Pulver und nicht isolierten Elektroden die Gefahr eines elektrischen Durchschlags, welcher die Modulationszelle zerstören würde.

Durch eine zusätzliche Ladungselektrode in der Modulationszelle ist jedoch sowohl bei leitendem und nicht leitendem Pulver eine Aufladung auch später möglich. Die Fig. 8 zeigt den Schnitt durch eine Modulationszelle mit den beiden Steuerelektroden 34, 35, Isolierschichten 36, Pulver 37 und mit zusätzlicher Ladungselektrode 38. Durch das Anlegen der Spannung U_L an die Ladungselektrode und einer darauf abgestimmten Spannungen U_7 und U_8 an die Elektroden wird eine elektrische Ladung auf die Ladungselektrode und das Pulver übertragen. Nach der Aufladung wird die Ladungselektrode von der Spannungsquelle isoliert, was zum Beispiel durch ein Relais 39 geschehen kann, so dass das Pulver nicht wieder entladen werden kann. Danach kann die Zelle zur Lichtmodulation genutzt werden. Durch die Ladungselektrode 38 kann die Ladung der Pulverteilchen verändert oder aufgefrischt werden.

Mittels strichpunktierter Linie ist schematisch ein Gehäuse 40 der Vorrichtung angedeutet. Ein derartiges Gehäuse ist erfindungsgemäß auch bei den anderen Ausführungsbeispielen vorgesehen. Das Gehäuse umgibt die vorstehend erläuterten Baukomponenten, wobei das Gehäuse hier nicht weiter dargestellte Durchführungen für elektrische Anschlußleitungen der Elektroden aufweist. Das Gehäuse 40 ist luftdicht, bevorzugt vakuumdicht, ausgebildet, um nachteilige Wechselwirkungen mit der Umgebung auszuschließen, beispielsweise um das Austreten des Gases bzw. des granularen Gases zu vermeiden oder das für die Erzeugung des granularen Gases für eine lange Zeit stabil aufrechtzuerhalten. Ferner kann das Gehäuse 40 einen Anschluss 41 aufweisen für die Zuführung oder Regenerierung des für die Erzeugung des granularen Gases vorgesehenen Gases bzw. zur Erzeugung oder Aufrechterhaltung des genannten Vakuums.

Zumindest in den für den Lichtdurchtritt vorgesehenen Bereichen ist das Gehäuse 40 lichtdurchlässig.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Modulation von Licht durch ein kontrolliertes granulares Gas. Dieses granulare Gas entsteht aus geladenen Pulverteilchen und wird innerhalb einer Modulationszelle durch elektrostatische Kräfte erzeugt und kontrolliert. Die Kräfte werden dabei von einer Anzahl von Elektroden ausgeübt, an die jeweils getrennt eine zeitlich variierende Spannung angelegt wird. Die sogenannten Steuerelektroden dienen zur Erzeugung des granularen Gases und die Begrenzungselektroden verhindern ein Entweichen des Pulvers aus der Modulationszelle. Durch die geometrische Anordnung der Elektroden ist es möglich, die Zelle in einzelne Pixel zu unterteilen, die unabhängig von einander geschaltet werden können. Die räumliche Dimension, sowie die Anzahl und die geometrische Anordnung der Elektroden ist abhängig von der jeweiligen Anwendung und der erwünschten Lichtmodulation. Die elektrische Aufladung der Pulverteilchen geschieht vor dem Einbringen des Pulvers in die Modulationszelle, oder je nach Material des Pulvers, durch eine unisolierte Steuerelektrode oder durch eine zusätzliche, nicht isolierte Elektrode.

Bezugszeichen

1, 2	Elektrode
3, 4	elektrisch isolierende Schicht
5	elektrisch geladenes Pulver
6	granulares Gas
7, 9	Steuerelektrode
8, 10	Begrenzungselektrode
12	Pulverteilchen
13	obere bzw. erste Steuerelektrode / Steuerelektroden
14	untere bzw. zweite Steuerelektrode/ Steuerelektroden
15, 16	Begrenzungselektrode
17	granulares Gas
18, 19	Steuerelektrode
20	elektrisch geladenes Pulver
21, 22	Begrenzungselektrode
23	Isolierschicht
24	Substrat
25	Glasplatte
26	Steuerelektrode
27	Begrenzungselektrode
28	Isolierschicht
29	Pulverteilchen
30	unisolierte Steuerelektrode
31	elektrisches Feld
32	isolierte Elektrode
33	geladene Teilchen
34, 35	Steuerelektrode
36	Isolierschicht
37	Pulver
38	zusätzliche Ladungselektrode
39	Relais
40	Gehäuse
41	Anschluss

Patentansprüche

1. Verfahren zur Lichtmodulation, wobei die Intensität des Lichtes mittels elektrisch ladbarer oder geladener Teilchen (5) veränderbar ist, dadurch gekennzeichnet, dass ein Gas oder Vakuum vorgesehen wird, in welchem die Teilchen (5) bewegbar sind, dass mit dem Gas oder Vakuum zwischen wenigstens zwei Elektroden (1, 2) ein granulares Gas (6) derart erzeugt wird, dass aufgrund einer an den Elektroden anliegenden zeitlich variierenden Spannung die im elektrischen Feld zwischen den Elektroden (1, 2) vorhandenen elektrisch geladenen Teilchen (5) hin und her bewegt werden und dass das Licht zur Modulation durch das granulare Gas (6) zwischen den Elektroden (1, 2) geleitet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass durch Ändern der an den Elektroden (1, 2) anliegenden Spannung (U_0 , U_1), insbesondere zwischen einem unteren Grenzwert der Spannung (U_0), bei welchem die Teilchen (5) im wesentlichen nicht bewegt werden oder im Bereich der einen Elektrode (2) haften, und einem oberen Grenzwert der Spannung (U_0), bis zu welchem das granulare Gas (6) erzeugbar ist, die Lichtmodulation durchgeführt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass in Abhängigkeit der Frequenz und/oder der Amplitude der an den Elektroden (1, 2) anliegenden Spannung die Lichtmodulation durchgeführt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass mittels weiterer Begrenzungselektroden (8, 10) der mittels der Steuerelektroden (7, 9) vorgegebene Bereich zur Ausbildung des granularen Gases (6) nach außen begrenzt wird, wobei an die Begrenzungselektroden (8, 10) eine Spannung (U_4 , U_6) angelegt wird, und/oder dass mittels des mit den Begrenzungselektroden (8, 10) ein den Bereich des granularen Gases vollständig umgebendes elektrisches Feld derart erzeugt wird, dass die elektrisch geladenen Teilchen (5) und/oder das granulare Gas (6) in dem Bereich zwischen den Steuerelektroden gehalten werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass mittels einer vorgegebenen Anzahl von Steuerelektroden (13) unabhängig voneinander Teile des in die den Steuerelektroden (13) zugeordneten Bereiche einfallenden Lichtbündels voneinander moduliert werden.

6. Vorrichtung zur Lichtmodulation, enthaltend zwischen wenigstens zwei Elektroden (1, 2) bewegbare, elektrisch ladbare oder geladene Teilchen, mittels welchen die Intensität des eintretenden Lichts veränderbar ist, dadurch gekennzeichnet, dass eine nach außen luftdicht oder vakuumdicht abgeschlossene Modulationszelle vorgesehen ist, in welcher ein Gas oder Vakuum zumindest zwischen den beiden Elektroden (1, 2) vorhanden ist, und dass der Abstand zwischen den Elektroden (1, 2) derart vorgegeben ist, dass durch Anlegen einer vorgegebenen, insbesondere zeitlich, variierenden Spannung (U_0) im elektrischen Feld zwischen den Elektroden (1, 2) ein granulares Gas aus den elektrisch geladenen Teilchen und dem Gas oder Vakuum vorhanden ist, und dass das zu modulierende Licht in den Bereich zwischen die beiden genannten Elektroden (1, 2) gelangt.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine, bevorzugt beide Elektroden (1, 2) auf ihren der jeweils anderen Elektrode zugewandten Seite eine Isolierschicht (3, 4) aufweisen.

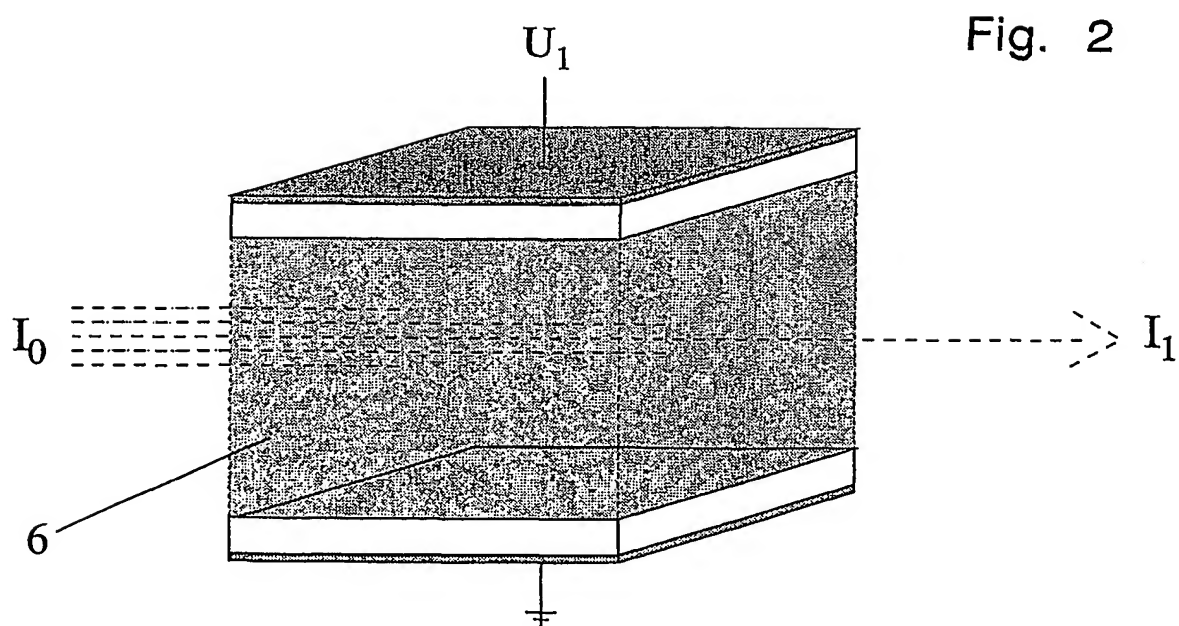
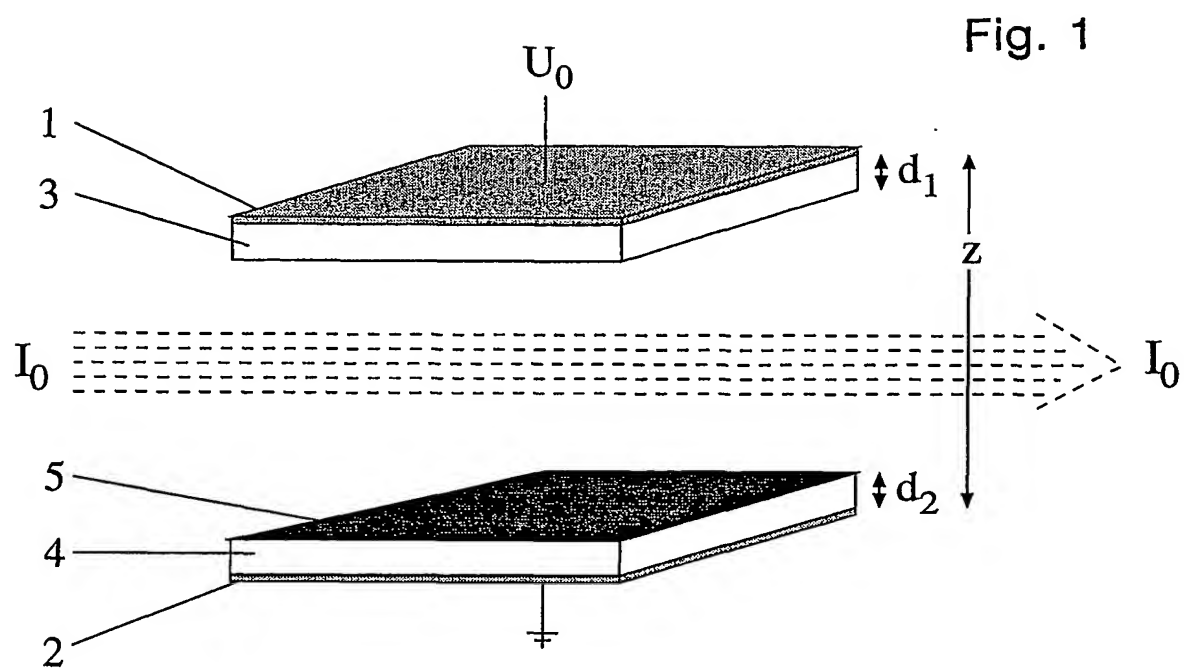
8. Vorrichtung nach Anspruch 6, oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass seitlich der Elektroden (7, 8), zwischen welchen sich das granulare Gas (12) ausbilden kann, Begrenzungselektroden (8, 10) in einem vorgegebenen Abstand (d) angeordnet sind, wobei an die Begrenzungselektroden (8, 10) eine Spannung (U_4 , U_6) derart angelegt ist, dass die Teilchen (5) oder das granulare Gas (12) in der mittels der Steuerelektroden (7, 9) gebildeten Modulationszelle gehalten werden.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass eine vorgegebene Anzahl voneinander unabhängig mit Spannung beaufschlagbaren Steuerelektroden (13) vorgesehen sind, welchen bevorzugt eine einzige gemeinsame zweite Steuerelektrode (14) gegenüberliegend angeordnet ist.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Begrenzungselektroden (21, 22), in einem vorgegebenen Winkel, bevorzugt von jeweils 90°, zu den Steuerelektroden (18, 19) angeordnet sind und/oder dass die Begrenzungselektroden (21, 22) den Bereich des granularen Gases seitlich begrenzen und/oder dass die Begrenzungselektroden (21, 22) lichtdurchlässig ausgebildet sind.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine der genannten Elektroden (18 - 20), bevorzugt sämtliche, von einer elektrisch isolierenden Schicht (36) überzogen sind, und zwar auf ihrer dem Bereich des modularen Gases zugewandten Seite.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass sie zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 5 ausgebildet ist.



2/4

Fig. 3

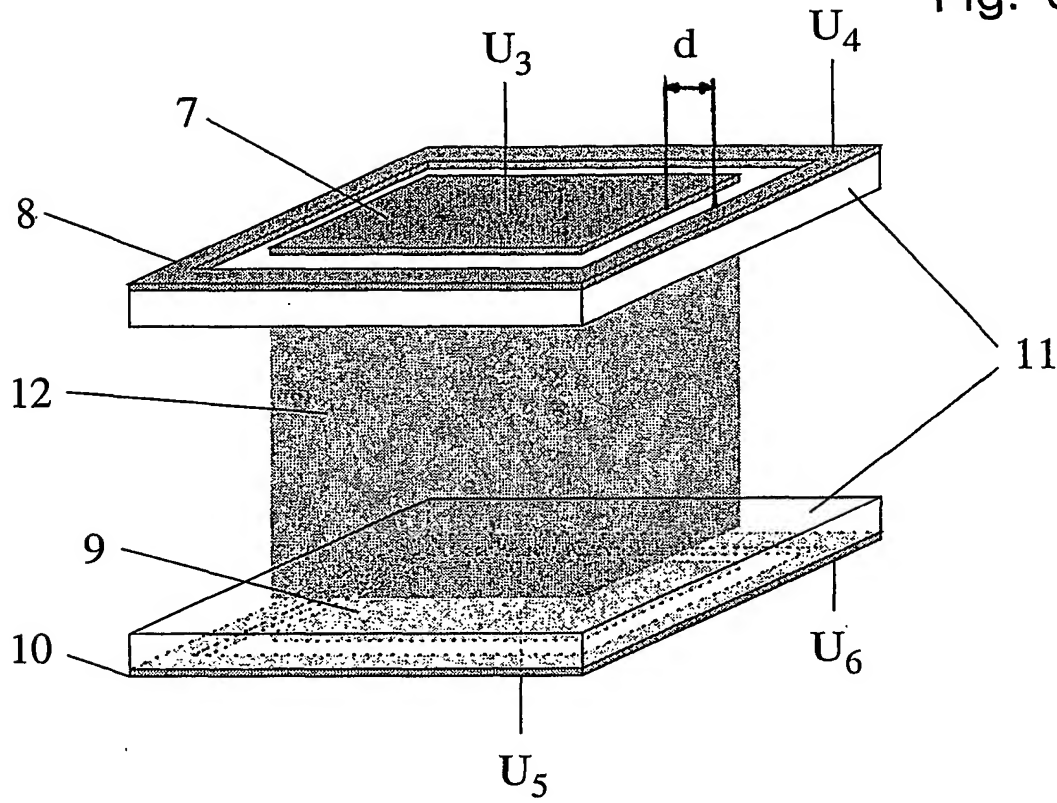


Fig. 4

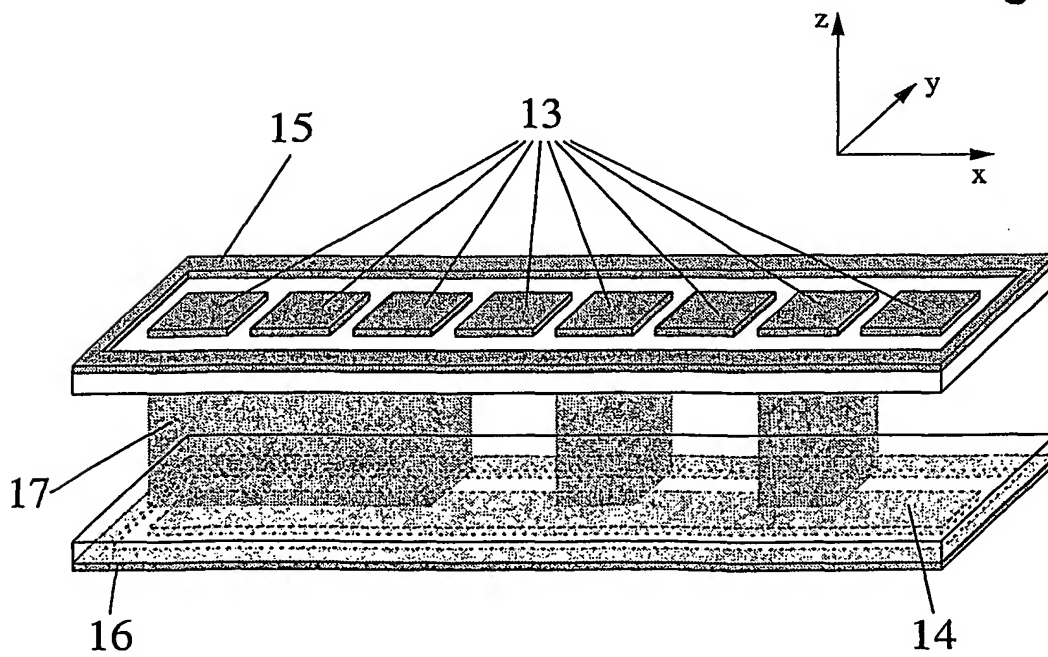


Fig. 5

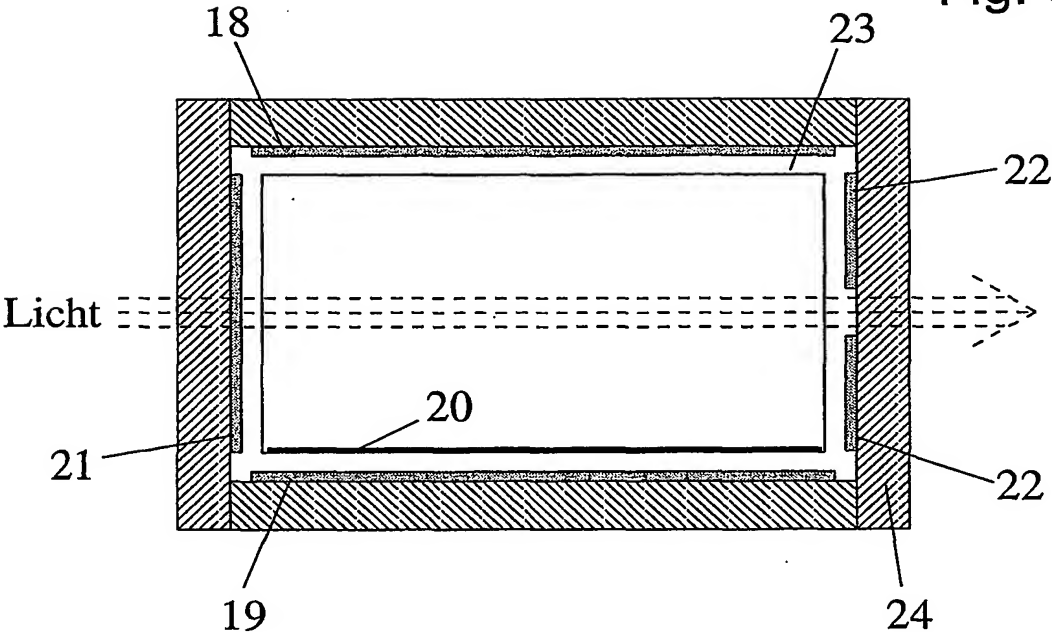


Fig. 6

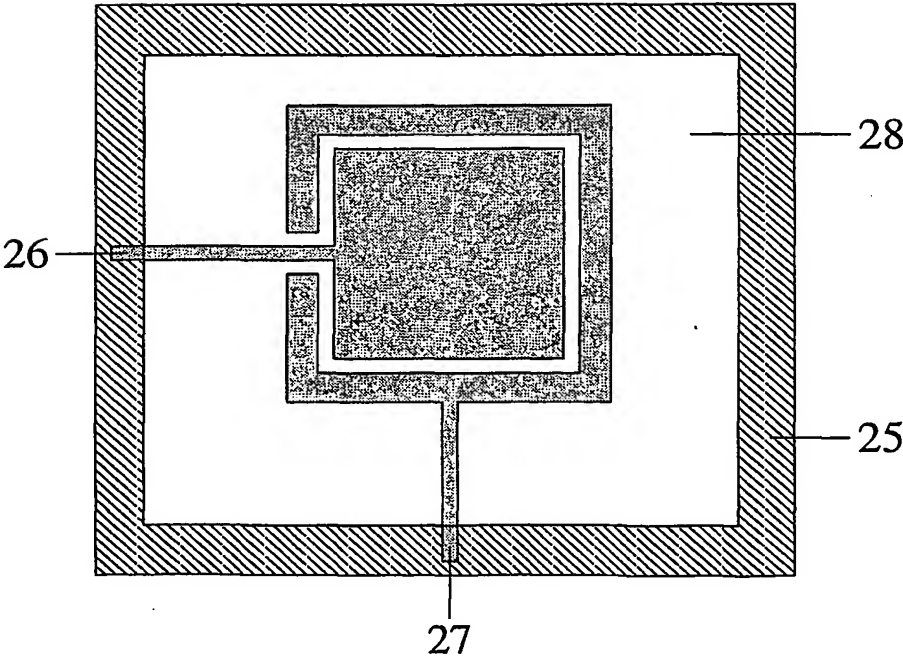


Fig. 7

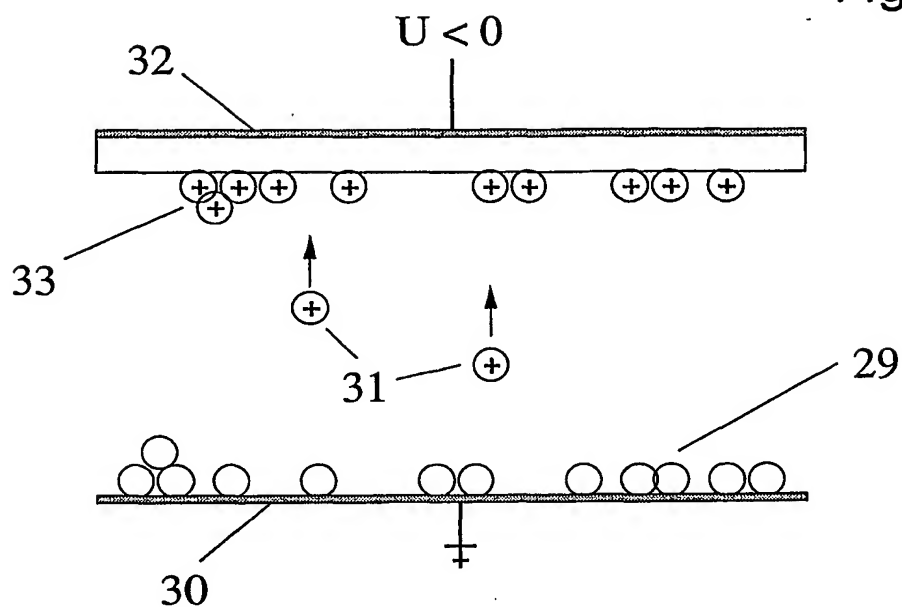
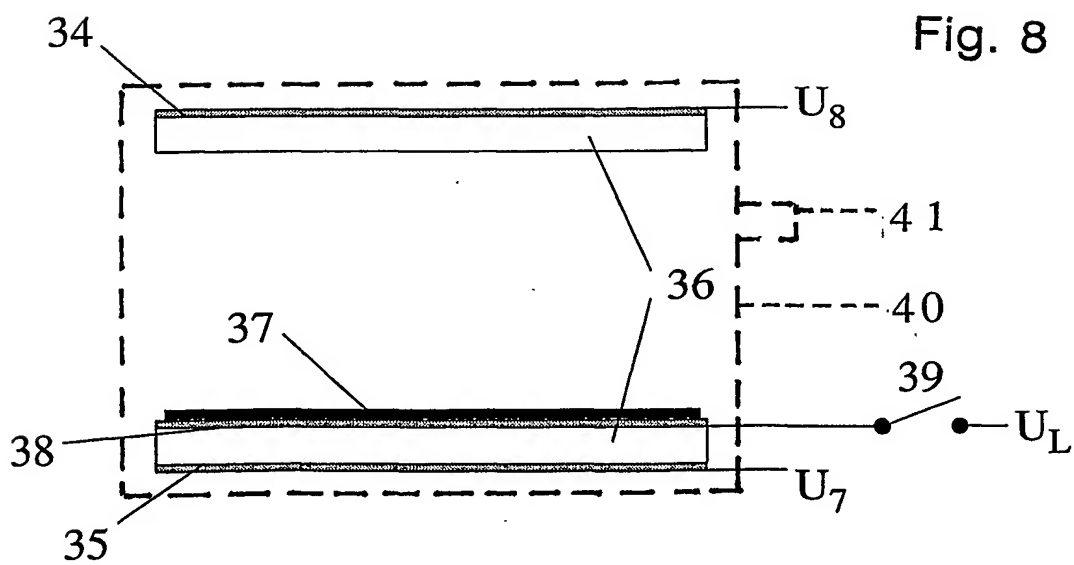


Fig. 8



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 03/03073

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G02F1/17

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G02F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, COMPENDEX, INSPEC, PAJ, IBM-TDB, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
------------	--	-----------------------

A	US 5 280 169 A (ADAMO RICHARD C ET AL) 18 January 1994 (1994-01-18) the whole document	1-12
---	--	------

A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2002, no. 03, 3 April 2002 (2002-04-03) -& JP 2001 312225 A (FUJI XEROX CO LTD), 9 November 2001 (2001-11-09) abstract -& US 6 407 763 B1 (MACHIDA YOSHINORI ET AL) 18 June 2002 (2002-06-18) column 12, line 21 -column 13, line 31 column 25, line 50 -column 29, line 34 figures 1-9	1-12
---	--	------

-/--



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

E earlier document but published on or after the international filing date

L document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

O document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

P document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

& document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

11 August 2003

Date of mailing of the international search report

19/08/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Ammerlahn, D

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 03/03073

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4 215 324 A (ABRAMS RICHARD L ET AL) 29 July 1980. (1980-07-29) the whole document -----	1,6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 03/03073

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5280169	A	18-01-1994	NONE
JP 2001312225	A	09-11-2001	US 6407763 B1 18-06-2002
US 4215324	A	29-07-1980	DE 2965245 D1 26-05-1983 EP 0007613 A2 06-02-1980 JP 1420205 C 14-01-1988 JP 55022190 A 16-02-1980 JP 62026004 B 05-06-1987

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 G02F1/17

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 G02F

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, COMPENDEX, INSPEC, PAJ, IBM-TDB, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 280 169 A (ADAMO RICHARD C ET AL) 18. Januar 1994 (1994-01-18) das ganze Dokument ---	1-12
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2002, no. 03, 3. April 2002 (2002-04-03) -& JP 2001 312225 A (FUJI XEROX CO LTD), 9. November 2001 (2001-11-09) Zusammenfassung -& US 6 407 763 B1 (MACHIDA YOSHINORI ET AL) 18. Juni 2002 (2002-06-18) Spalte 12, Zeile 21 -Spalte 13, Zeile 31 Spalte 25, Zeile 50 -Spalte 29, Zeile 34 Abbildungen 1-9 --- -/--	1-12

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

11. August 2003

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

19/08/2003

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Ammerlahn, D

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 4 215 324 A (ABRAMS RICHARD L ET AL) 29. Juli 1980 (1980-07-29) das ganze Dokument -----	1,6

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 5280169	A	18-01-1994	KEINE		
JP 2001312225	A	09-11-2001	US	6407763 B1	18-06-2002
US 4215324	A	29-07-1980	DE	2965245 D1	26-05-1983
			EP	0007613 A2	06-02-1980
			JP	1420205 C	14-01-1988
			JP	55022190 A	16-02-1980
			JP	62026004 B	05-06-1987